

法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

アルコールおよびエマルジョン混合燃料を用いた小型ディーゼル機関の燃焼特性に関する研究

著者	劉 一陽
出版者	法政大学大学院理工学研究科
雑誌名	法政大学大学院紀要．理工学・工学研究科編
巻	59
発行年	2018-03-31
URL	http://hdl.handle.net/10114/14200

アルコールおよびエマルジョン混合燃料を用いた 小型ディーゼル機関の燃焼特性に関する研究

A STUDY OF COMBUSTION CHARACTERISTICS FOR SMALL DIESEL ENGINE
BY USING THE ALCOHOL AND EMULSIFIED BLEND FUEL OF ETHANOL

劉 一陽

Yiyang LIU

指導教員 川上 忠重

法政大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程

Nowadays, biomass fuels become a subject which is extensively concerned from the view points of the aggravation of the greenhouse effect, acid rain, other environmental problems and the depletion of oil resources. From the point of this view, this experiment has been carried out to examine the influence of combustion characteristics and exhaust emissions for small diesel engine by using six types of fuel, which consist of different pure ethanol volume percentages (5%, 10%, 15%, 20%, and 25%), with constant 3 vol% of surfactant at 20% and 25%; and 10% aqueous ethanol (ethanol: 60 wt%, water: 40%), with 3% of surfactant, and labelled as E5, E10, E15, E20, E25, and E10(60), respectively.

The combustion behaviors, such as burning pressures, heat release rate and emissions (CO, HC, NO_x, Smoke) are observed. The main conclusions are as follows: 1) HC and CO emissions of ethanol-light oil blended fuels are bigger than that of light oil. 2) It is possible to reduce the NO_x and smoke emissions by using ethanol-light oil blended fuels. 3) NO_x emissions can possible to reduce by using ethanol emulsified light oil under high load engine conditions.

Key words : Diesel engine, Biomass ethanol, Emulsion, Combustion characteristics

1. 緒言

近年、地球温暖化や酸性雨などの環境問題が深刻化しており、世界中の国々で環境問題への対策のためのさまざまな取り組みが行われている。各種内燃機関を用いている自動車についても、排気ガスの規制が年々厳しくなっており、また、持続可能なエネルギー源の確保は重要な社会問題の1つであり、代替燃料としてバイオ燃料が近年注目されている。バイオ燃料は、生物資源を原料として生産される燃料の一種であり、また、バイオエタノールとは、サトウキビやトウモロコシなどのバイオマスを発酵させて製造するエタノールのことである。これらの燃料はカーボンニュートラルすなわち、植物が成長する過程で二酸化炭素を光合成で吸収することで、燃料を燃焼させた際に発生する二酸化炭素を実質的に相殺することが可能となり、CO₂等の低減が期待されている⁽¹⁾。

本研究ではガソリンエンジンに比べて二酸化炭素の排出を抑えられるディーゼルエンジンに着目し、ディーゼ

ル発電機を用いて、エタノール添加による燃焼生成物に及ぼす、燃料性状の影響について検討を行った。併せて、熱発生率に及ぼす効果についても考察を行った。また、エタノール生産コスト及びエネルギー消費を削減するために、濃縮を60%程度までに抑えることで蒸留に使われるエネルギーが大幅に節約できることから⁽²⁾、エタノール水溶液と軽油のエマルジョン燃料を用いた場合の燃焼生成物及び熱発生率に及ぼす影響についても考察を行った。

2. 実験装置及び実験方法

(1) 実験装置

本実験で使用したエンジンはKIPOR製空冷式ディーゼル発電機 KED2.0E を使用した。なお、吸気系、冷却系などは標準仕様からの変更は行っていない。供試機関の諸元表を表1に、実験装置を図1にそれぞれ示す。

Table.1 KM170F-A Engine specification

Engine type	4stroke diesel engine
Combustion system	Direct injection
Cooling system	air-cooling
Number of cylinder	1
Bore×Stroke	70mm×55mm
Displacement	0.211L
Valve system	OHV
Compression ratio	20
Rated output	2.5kW/3000rpm

負荷の設定にはグリーンウッド社製遠赤外線ヒーター GEH-100N を用いて出力を切り替えることで、設定負荷を 0,350,700,1050W の 4 種類のデータを測定した。排気ガスの測定には AVL 社製 Di-Com4000 を使用した。排気特性の観察は機関を十分暖気運転した後、排気管から排出された排気ガスの一部を装置に導入することで NO_x,CO₂,CO,HC,O₂ の 5 種を測定した。スモークの測定には、株式会社イヤサカ製光透過式黒煙測定器オパシメータ ALTAs-5100D を使用した。各条件において 10 回ずつ測定を行い、算術平均値を用いてデータの検討を行った。

熱発生率の算出には、機関燃焼室壁に取りつけられたピエゾ型圧力変換器からの圧力履歴及びフォト・マイクロセンサーで上死点位置がモニタリングできるように設定し、これらのデータから $P-\theta$ 線図を図示することにより算出した。なお、熱発生率の算出においては、比熱一定として計算を行い、各機関条件において、算術平均値を用いて検討を行った。

(2) 燃料

本実験では軽油をベースにエタノール及びエタノー

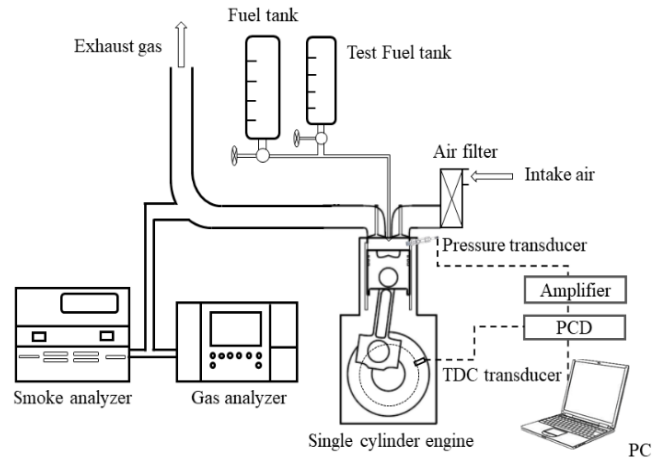


Fig.1 Experimental device

ル水溶液を添加した混合燃料を使用し、また、アルコールの添加率 W_a 及びアルコール水溶液の添加率 W_c は以下のように定義する。

$$W_a = \frac{\text{volume of ethanol}}{\text{volume of fuel}} \times 100\%$$

$$W_c = \frac{\text{volume of alcohol solution}}{\text{volume of fuel}} \times 100\%$$

エタノール混合燃料の場合には、軽油の入ったビーカーに各添加率に相当するエタノール (E+割合) を添加し、マグネチックスターラーを用いて攪拌させた。エマルジョン燃料の場合には、界面活性剤 (和光純薬 ソルビタンモノオレエート) の入った軽油に無水エタノールに蒸留水を 40 wt% 加えたことで作製したエタノール水溶液 (E+割合 (60)) を添加率に相当する体積まで少しずつ添加し、攪拌させて作製した。なお、燃料の相分離を防止するために E20 及び E25 には 1-オクタノールを 3 vol% 添加した。各燃料性状を表 2 に示す。

Table.2 Fuel properties

Test fuels		E5	E10	E15	E20	E25	E10(60)
Light oil	[vol%]	95	90	85	77	72	87
Ethanol	[vol%]	5	10	15	20	25	6.5
Water	[vol%]	-	-	-	-	-	3.5
1-octanol	[vol%]	-	-	-	3	3	-
Sorbitan monooleate	[vol%]	-	-	-	-	-	3
Lower heating value	[MJ/kg]	42.3	41.5	40.7	38.5	37.7	39.6
Cetane number		53.6	51.2	48.8	44.7	42.3	49.9
Oxygen content	[wt%]	1.7	3.5	5.2	7.0	8.7	2.3

3. 実験結果及び考察

(1) 筒内圧力および熱発生率

図2に各燃料の最高燃焼圧力を示す。E5燃料を用いた場合、各機関負荷において、軽油単体より最高燃焼圧力が低下した。これは、燃料のセタン価が低下することにより、着火遅れ期間の増大によるもの、また、アルコール系燃料の発熱量が軽油より低く、さらに、アルコール早期蒸発による吸熱により、燃焼温度が低下した為と考えられる。また、エタノール添加率を5%から20%まで変化させた場合、顕著な最高燃焼圧力の変化は観察されなかった。一方、E25燃料を用いた場合、最高燃焼圧力は更に低下した。これは、着火遅れ期間の大幅な増大による結果と考えられる。さらに、低負荷領域においては、他のエタノール添加率の燃料と比較して、負荷の増加に対して、若干ではあるが、燃焼圧力の増加割合が小さくなっている。これは、機関負荷の増加に伴い、燃料噴射量が増加し、アルコール早期蒸発により、燃焼温度が上昇しなかった為と考えられる。また、E10(60)燃料を用いた場合、各負荷において、最高燃焼圧力は軽油単体より低下しているが、E10燃料より増加している。これは、水の添加による霧化が促進された為と考えられる。

図3、図4に無負荷及び負荷1050Wにおける各燃料の筒内圧力履歴と熱発生率を、それぞれ示す。負荷に関わらず、アルコール混合燃料を用いた場合、着火遅れ期間が軽油単体よりも増大している。本実験範囲内では、エタノール添加率を5%から20%まで変化させた場合、各混合燃料の着火遅れ期間がほぼ同程度である。これは、エタノール添加率の増加による燃料粘度の低下に伴い⁽³⁾、可燃混合気の形成が促進された為と考えられる。また、負荷1050Wにおいては、アルコール混合燃料を用いた場合、軽油と比較して最大熱発生率が上昇している。これは、着火遅れ期間の増加及びアルコール燃料が早期蒸発することにより、混合が促進された為⁽⁴⁾と考えられる。また、E25燃料を用いた場合、無負荷領域においては、最高熱発生率は、他の燃料に比べて低下している。これは、セタン価の低下による着火遅れ期間の増大および燃料発熱量の低下による燃焼温度の減少によるものと考えられる。一方、負荷1050Wにおいては、着火遅れ期間の増大に関わらず、最高熱発生率は他の燃料とほぼ同程度である。これは、高負荷領域においては、アルコール蒸発が早期化することにより、混合が促進された為と考えられる。また、E10(60)燃料を用いた場合、筒内圧力履歴および熱発生率は、E10燃料に比べて、顕著な変化が観察されなかった。

図5、図6に無負荷及び負荷1050Wにおける各燃料の総熱発生量の履歴を、それぞれ示す。各混合燃料を用いた場合、E25燃料を除いて、ほぼ同一形状になっていることが確認された。また、E25燃料を用いた場合、無負荷領域においては、燃焼初期に熱発生量が他の燃料と比較して著しく減少している。

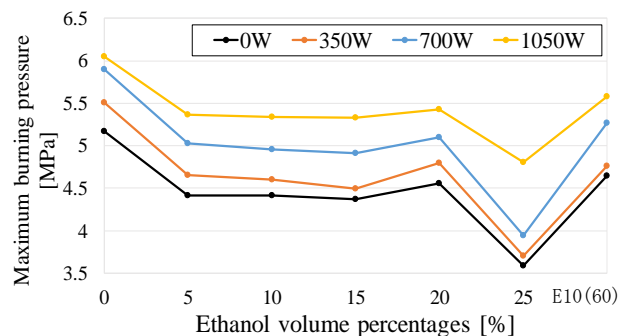


Fig.2 Maximum burning pressure

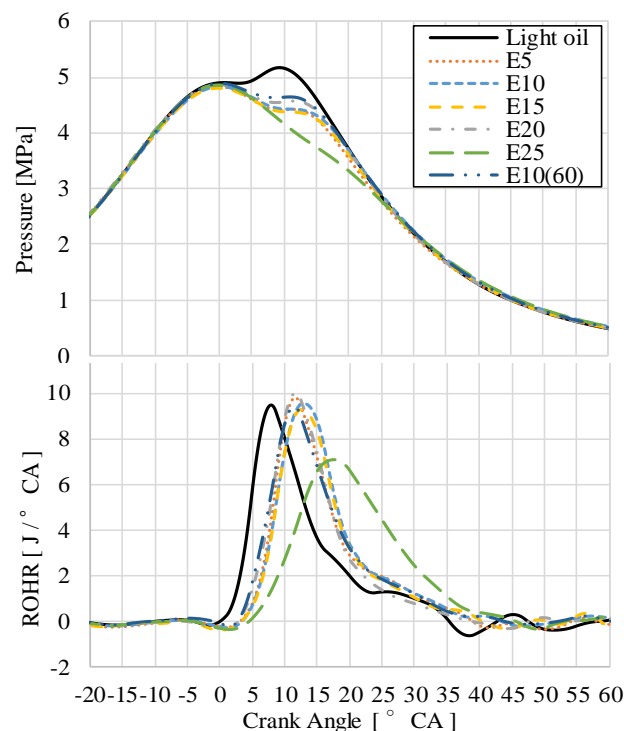


Fig.3 Pressure and ROHR (Load 0 W)

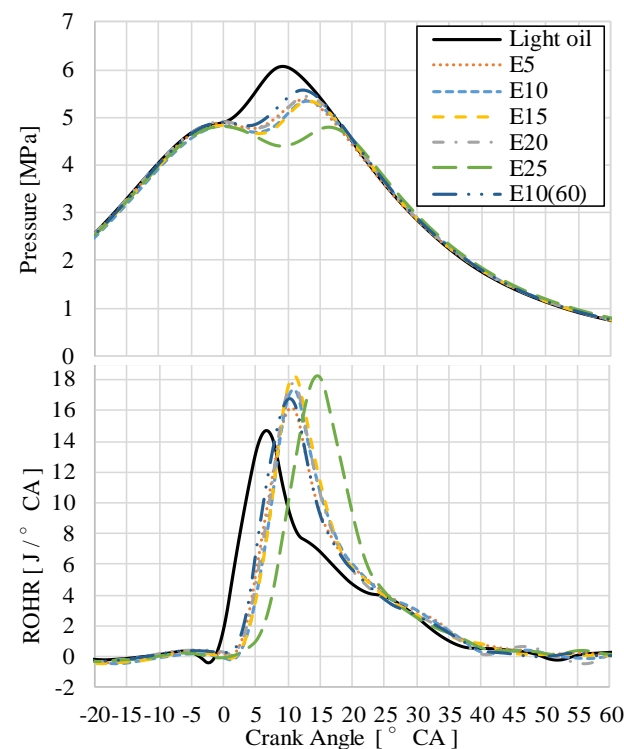


Fig.4 Pressure and ROHR (Load 1050 W)

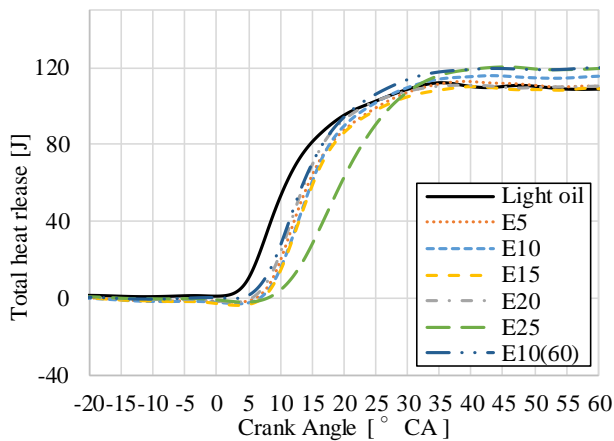


Fig.5 Total heat release (Load 0 W)

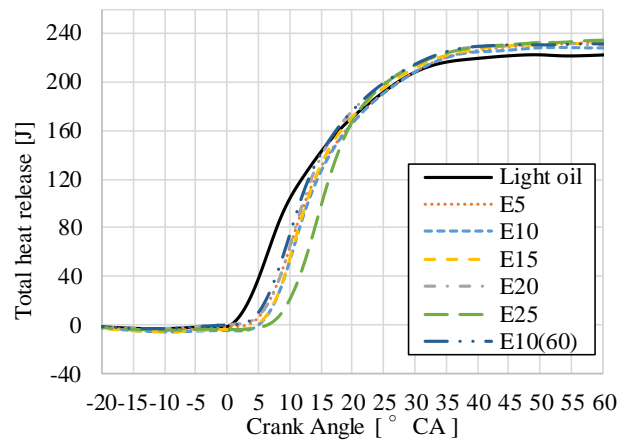


Fig.6 Total heat release (Load 1050 W)

(2) 排気成分

図 7、図 8 に各設定負荷における各燃料の CO 及び HC の排出量を、それぞれ示す。全負荷領域において、アルコール混合燃料を用いた場合、CO 及び HC の排出量が軽油単体よりも増大している、特に E25 の場合、軽油単体より大幅な増大が観察された。これは、アルコールを添加したことで、燃料の発熱量が低下した為、未燃成分である CO および HC の排出量が増加したと考えられる。また、E10(60)を用いた場合、無負荷領域において、燃料の発熱量が E10 燃料より低下しているが、CO の排出量が減少している。これは、水の添加による混合促進の効果によるものと考えられる。

図 9 に各設定負荷における各燃料の NOx 排出量を示す。エタノールを添加した場合、NOx 排出量は全負荷において、軽油単体に比べて減少している。これは、エタノール混合燃料の発熱量が軽油より低く、また、エタノールの気化潜熱に伴い、火炎温度及び最高燃焼温度が減少し、サーマル NOx 排出量が低下したと考えられる。さらに、低負荷領域において、エタノール添加率を 5%から 15%まで変化させた場合、NOx の排出量が添加率増加に伴って減少している。また、25%エタノールを添加した場合、軽油単体より著しく NOx 濃度は低減している。これは、発熱量の減少に伴い、火炎温度が低下したことで、NOx の生成量が減少したと考えられる。ここで、E10(60)を用いた場合、無負荷の場合では、NOx の排出量が E10 燃料より増大している。これは、水の添加による混合促進効果によるものと考えられる。一方、E10(60)を用いた場合、負荷の増加に伴い、NOx 濃度の増加率は E10 燃料より小さく、特に、負荷 1050W において、NOx の排出量が E10 燃料より 15ppm 程度減少している。これは、燃料供給量の増加に伴い、燃料発熱量および水の気化による吸熱の影響が顕著に発生したことにより、燃焼温度の低下による NOx 排出量の減少によるものと考えられる。

図 10 に各設定負荷における各燃料のスモーク排出量を示す。エタノール添加率を 5%から 20%まで変化させた場合、負荷 350W を除いて、黒煙の排出量が軽油単体を用

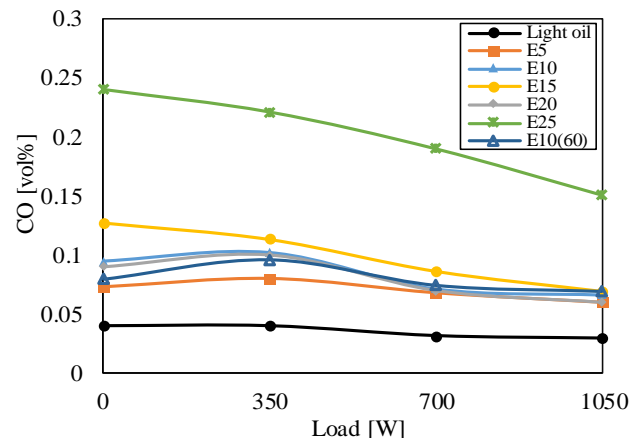


Fig.7 CO emission

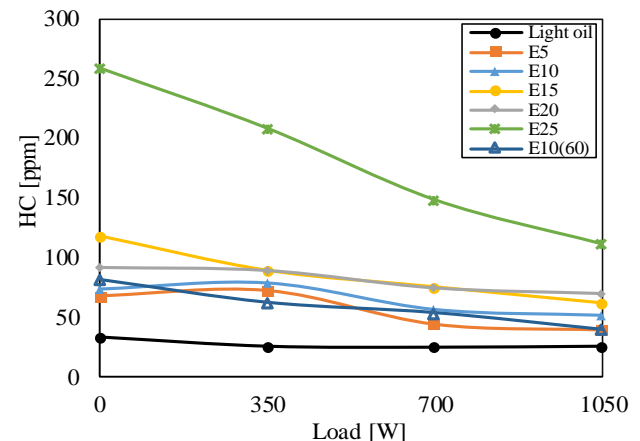


Fig.8 HC emission

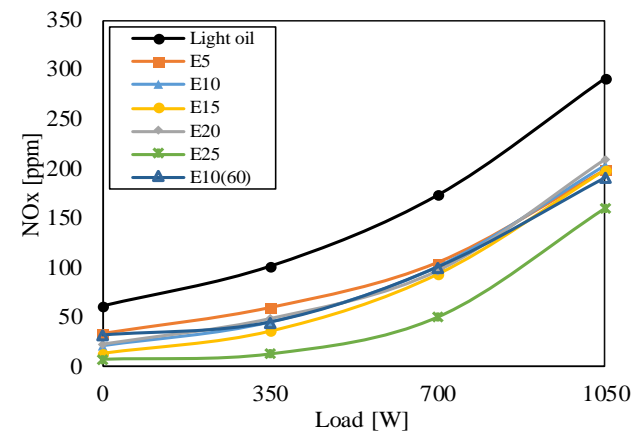


Fig.9 NOx emission

いた場合よりも減少している。これは、煤の発生が少ない含酸素燃料であるアルコール系燃料を添加することにより、酸素不足によって発生する煤の量が減少したと考えられる。また、E25の場合、低・中負荷領域において、黒煙の排出量が軽油単体よりも増加している。これは、燃焼温度が低下したことにより、燃料噴射期間中に生成された煤が酸化されず⁽⁶⁾、そのまま排出されたと考えられる。また、E10(60)を用いた場合、負荷 1050W を除いて、黒煙の排出量が E10 燃料より減少している。これは、水を添加したことにより、燃料霧化の影響によるものと考えられるが、今後の検討課題の 1 つである。

4. 結論

本研究では、小型ディーゼル機関でのエタノール軽油混合燃料を用いた場合、燃焼生成物及び熱発生率に及ぼす影響について検討を行った。以下に結果を示す。

- (1)エタノールー軽油混合燃料を用いることにより、HC および CO の排出量は増加する。
- (2)エタノールー軽油混合燃料を用いることにより、NO_x 及びスモーク排出量を低減させることが可能である。
- (3)エタノールー軽油エマルジョン燃料を用いることにより、高負荷領域において、NO_x の排出量を低減させることが可能である。

謝辞

本研究を行うにあたり、終始ご指導、ご鞭撻していただきました川上忠重教授に心から深く感謝し、御礼申し上げます。また、研究活動にご協力いただいたエネルギー変換工学研究室の皆様にも深く感謝いたします。

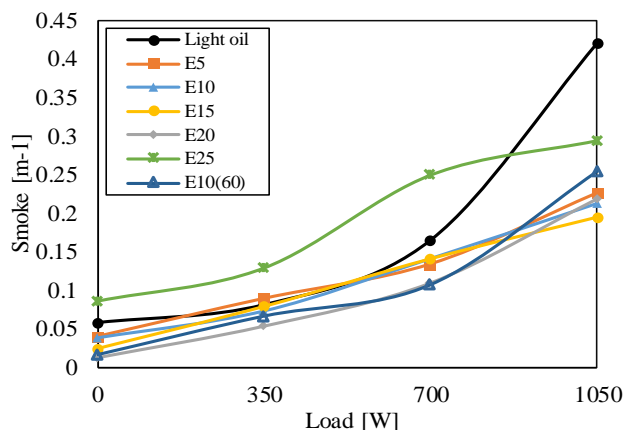


Fig.10 Smoke emission

最後に、同研究を行っていた修士 1 年生の高立琪氏および学部四年生の今井広貴氏にも心から感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 加藤 信夫, 2009, バイオ燃料と食・農・環境
- [2] Flowers, D., Aceves, S., and Frias, J., 2007, "Improving Ethanol Life Cycle Energy Efficiency by Direct Utilization of Wet Ethanol in HCCI Engines", SAE Technical Paper 2007-01-1867
- [3] Aguk Zuhdi M.F ほか 3 名, 1983, アルコール混合燃料液滴の燃焼, 日本舶用機関学会誌, 第 28 巻 第 12 号
- [4] 劉 一陽, 川上 忠重, 2017, 小型ディーゼル機関の排気特性及び熱発生率に及ぼすエタノール添加の影響について, 山梨講演会論文集, No.404
- [5] 広安 博之, 1988, わかる内燃機関, pp,187-188